云 南 植 物 研 究 2005, 27 (5): 479～488
Acta Botanica Yunnanica

淫羊藿分株种群特征及其与箭叶淫羊藿空间分布的点格局分析

钱宝英, 黎云祥[**], 廖咏梅, 张亚爽, 杨子松, 冯 图
(西华师范大学环境科学与生物多样性保护省级重点实验室, 四川 南充 637002)

摘要: 对四川省南充市金城山3个不同海拔梯度 (560 m、653 m、774 m) 上的淫羊藿分株种群特征以及用聚块性指标 (m^* m)、聚集指数、Cassie 指标、扩散系数和点格局分析法, 分别对淫羊藿基株种群与海拔 771 m 处箭叶淫羊藿基株种群的空间分布格局进行了研究。结果显示: 在低海拔梯度 560 m 处淫羊藿分株种群密度达到最大, 随着海拔的升高, 淫羊藿分株种群密度显著减小。不同海拔高度下, 淫羊藿分钻种群根冠比在 774 m 处最高。3 种海拔梯度上, 淫羊藿基株种群空间分布格局为集群分布; 箭叶淫羊藿基株种群在尺度 (t) 0～0.01 之间呈随机分布, 在 0.01～0.5 之间呈集群分布。最后, 结合保护淫羊藿和箭叶淫羊藿的药用资源以及点格局分析方法在研究草本植物种群空间分布格局中的优越性展开了讨论。

关键词: 淫羊藿; 箭叶淫羊藿; 种群; 空间分布格局; 点格局
中图分类号: Q 948　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0253-2700 (2005) 05-0479-10

Characteristics of the Ramet Population of *Epimedium brevicornum* and Analysis of Spatial Point Pattern for *E. brevicornum* and *E. sagittatum*[*]

QIAN Bao-Ying, LI Yun-Xiang[**], LIAO Yong-Mei, ZHANG Ya-Shuang, YANG Zi-Song, FENG Tu
(*Sichuan Provincial Key Laboratory of Environmental Science and Biodiversity Conservation, China West Normal University*, Nanchong 637002, China)

Abstract: *Epimedium brevicornum* was sampled from Jinchengshan, a mountain of Nanchong, Sichuan province at altitudes of 560 m, 653 m and 774 m respectively for investigation of its ramet population variation. The results showed that the ramet population density decreased remarkably and its ratio of root to shoot increased with increasing elevation e.g, at 774 m the ratio of root to shoot was significantly higher than that at 560 m. The spatial distribution pattern of *E. brevicornum* at three different altitudes and *E. sagittatum* at the altitude 771 m were also investigated respectively with Congregation index (m^* m)、Clump index (I)、Cassie index (CA)、Dispersal index (C) and spatial point pattern analysis. The results revealed that the

基金项目: 四川省杰出青年学科带头人培养计划项目 (04ZQ026-047) 和四川省科技厅应用基础项目 (03JY029-021-22)
通讯作者: Author of correspondence. E-mail: yx_li@263.net 或 wutongye1979@tom.com
收稿日期: 2005-01-07, 2005-06-30 接受发表
作者简介: 钱宝英 (1979-) 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。

populations of *E. brevicornum* was clumped at all of the spatial scales, whereas the population of *E. sagittatum* was randomly distributed at the small spatial scales, and was clumped at the most spatial scales which ranged from 0.1 m to 5 m. Finally, we discussed the protection of *E. brevicornum* and *E. sagittatum* and advantage to use point pattern analysis in the investigation of the spatial pattern of herb plant.

Key words: *Epimedium brevicornum*; *E. sagittatum*; Population; Spatial distribution pattern; Point pattern

淫羊藿、箭叶淫羊藿为小檗科 (Berberdiaceae) 淫羊藿属 (*Epimedium*) 多年生宿根性草本药用植物。淫羊藿属植物全世界有 40 余种，国产淫羊藿现有 23 种和 4 变种，四川为淫羊藿的主要分布区，也是淫羊藿属植物的现代分布中心之一。《中华人民共和国药典》(2000 版) 收载了淫羊藿属的淫羊藿 (*Epimedium brevicornum*)、箭叶淫羊藿 (*E. sagittatum*)、柔毛淫羊藿 (*E. pubescens*)、巫山淫羊藿 (*E. wushanense*) 和朝鲜淫羊藿 (*E. koreanum*) 5 个种作为正品入药。其中前 4 种四川均有，淫羊藿和箭叶淫羊藿在南充地区均产。淫羊藿属植物主要的药用功效有补肾壮阳、强筋骨、祛风湿，对骨质疏松症有显著促进骨形成的作用 (侯集瑞等，2004)。近来的研究发现淫羊藿属植物的药用作用还体现在可以抑制正常黑素细胞黑素的合成 (王大光等，2004)。由于目前越来越多的研究发现淫羊藿和箭叶淫羊藿的药用价值不仅仅局限于传统的补肾阳，因此对淫羊藿和箭叶淫羊藿的需求量也就越来越大，而原料很大程度上都来源于野生的淫羊藿和箭叶淫羊藿，人工栽培的淫羊藿和箭叶淫羊藿还比较少，保护野生淫羊藿和箭叶淫羊藿以及进一步扩大人工栽培和改善人工栽培中的各种环境影响因子已是亟待解决的问题。

植物种群在群落中的分布有 3 种类型：随机分布、均匀分布和集群分布。空间分布格局的研究方法很多，可以分为样方法、无样地法、点格局分析法和分形理论等，其中无样地法又可以分为点到点距离的比率和中心点 - 四分法 (兰国玉和雷瑞德，2003；李海涛，1995)。传统的研究植物种群空间格局分布的方法都用样方法，但是传统的样方取样和分析方法，无论样方大小取得如何的合理，种群的分布类型与空间尺度的关系都不能全面的反映出来，而点格局分析法在很大程度上可以克服传统样方法中的不足 (张金屯，1998；张金屯和孟东平，2004；Ripley，1977，1981)。本文采用了聚块性指标 (m^{*} m)、聚集指数、Cassie 指标、扩散系数和张金屯教授首先引入的点格局分析方法来研究淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群空间分布格局，而后再对 5 种分析方法进行比较分析。目前国内点格局分析方法在研究木本植物种群的空间分布格局应用的比较多，而应用于研究草本植物种群的空间分布格局比较少。淫羊藿和箭叶淫羊藿都是密集型的克隆植物，因此在确定坐标时作者取的是一个植物基株作为一个坐标点，即看作一个植物个体。

1 研究地点及方法

1.1 研究地点概况

研究地点位于四川盆地中部南充市与广安市交界地金城山 (106°28′E，30°45′N)，地处北亚热带，属亚热带暖气候区，季风气候明显，四季分明，热量丰富，年均温度 17.5℃，年均降水量在 1 100 mm 左右，研究地为人工林，多浅沟崖壁，坡度 35°左右，湿度高。金城山为次生性针阔叶混交林，属于亚热带常绿阔叶林演替系列 (胥晓等，1999)。

1.2 研究材料

淫羊藿主要分布于四川金城山，峨眉山没有淫羊藿的分布，箭叶淫羊藿分布广泛，金城山和峨眉山都有分布，其生境主要是林下潮湿的浅沟边或矮崖下，在光照强烈的地方或旷地上几乎没有分布。

1.3 野外调查

2004 年 6 月沿金城山山麓向上分别在 560 m、653 m、774 m 3 个不同的海拔梯度上选择 4 个样地。3 个海拔梯度样地的乔木层和灌木层组成基本上一样，乔木层主要有白栎（*Quercus fabric* Hance)、柏木（*Cupressus fueris* Endl .)、杉木（*Cunninghamia lanceolata*）等，灌木层主要有十大功劳（*Mahonia fortunei*)、女贞（*Ligustrum lucidum*)、长尖叶蔷薇（*Rosa longicuspis*)、喜阴悬钩子（*R. mesogaeus*)、杜鹃（*Rhododendron simsii*)、油茶（*Camellia oleifera*)、细齿柃（*Eurya loguaiana*）等，海拔 774 m 处草本层物种以淫羊藿和箭叶淫羊藿占优势并伴生有冷水花（*Pilea notata*)、细柄草（*Capilipedium prviflorum*)，在低海拔处伴生种除了冷水花和细柄草还有鸢尾（*Iris tectorom*)、蛇莓（*Duchesnea indica*)、艾蒿（*Artemisia argyi*)、打破碗花花（*Anemone hupehensis*)、乌敛莓（*Cayratia japonica*)、水麻（*Debergeasia edulis*)、吉祥草（*Reirneckea camea*）等。由于在海拔 749 m 以下没有箭叶淫羊藿分布，因此不对箭叶淫羊藿的分株种群特征进行研究。为研究淫羊藿在各个海拔梯度的分株种群特征，每个海拔梯度各设 3 个 3 m×3 m 的样方，调查淫羊藿分株种群密度、分株种群根冠比和测定经度、纬度、海拔、土壤含水量等环境因子（表 1），在每一样地中随机挖取 5 棵完整的淫羊藿（含根系及其上的所有分株），然后带回实验室测定淫羊藿植物的根系生物量和地上生物量，生物量的测定以在 60～70℃的烘箱中烘干至恒重为准。为研究淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群的空间分布格局，分别在 559 m、656 m 和 782 m 3 个海拔梯度上和 771 m（样方号 13）处各设 4 个 10 m×10 m 的样方，然后分别确定样方中所有淫羊藿和箭叶淫羊藿基株的坐标，再根据坐标，把 10 m×10 m 的样方分成 4 个 5 m×5 m 的小样方。

表 1　各样地的环境因子

Table 1　Environmental conditions at different sites

样地 Site	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude (m)	透光度 Transparence (%)	土壤含水量 Watercontent of soil (%)	土壤 pH Soil pH	土壤有机质含量 Organic matter of soil (%)
1	106°28.791′	30°45.025′	560	0.41	20	4.53	4.87
2	106°28.800′	30°45.020′	557	0.37	21	4.89	4.13
3	106°28.809′	30°45.031′	568	0.26	23	4.7	3.64
4	106°28.795′	30°45.051′	661	0.46	25	5.13	4.1
5	106°28.799′	30°45.042′	643	0.49	23	4.77	3.27
6	106°28.802′	30°45.046′	653	0.45	24	5.0	3.32
7	106°28.809′	30°45.077′	778	0.56	26	5.03	2.78
8	106°28.800′	30°45.068′	771	0.55	22	5.33	3.13
9	106°28.796′	30°45.072′	774	0.47	27	5.13	1.57
10	106°28.805′	30°45.027′	559	0.40	22	4.68	4.37
11	106°28.793′	30°45.044′	656	0.43	24	4.91	3.31
12	106°28.803′	30°45.081′	782	0.51	24	5.22	2.91
13	106°28.803′	30°45.067′	771	0.47	26	5.03	2.84

1.4 数据分析

以海拔为独立因素，分别对淫羊藿分株种群密度和根冠比进行单因素方差分析（spss 统计软件），同时运用聚块性指标（$m^* \quad m$)、聚集指数、Cassie 指标、扩散系数和点格局分析 5 种分析方法研究淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群的空间分布格局。

聚块性指标（$m^* \quad m$）(Pielou，1988)

$$m^* = m + (s^2 \quad m - 1)$$

其中，s^2 为种群多度的方差，m 为种群多度的均值（下同）。当 $m^* \quad m = 1$ 时，种群属随机分布；

m^* $m>1$ 时，属集群分布；m^* $m<1$ 时，属均匀分布。

聚集指数计算公式（郑元润，1997；Ludwig and Reynolds，1991）

$$I=(s^2 \quad m)-1$$

当 $I=0$ 时，种群属随机分布；$I>0$ 时，属集群分布；$I<0$ 时，属均匀分布。

Cassie 指标计算公式（Cassie，1962）

$$CA=(s^2-m) \quad m^2$$

当 $CA=0$ 时，种群属随机分布；$CA>0$ 时，属聚集分布；$CA<0$ 时，属均匀分布。

扩散系数计算公式（上官铁梁等，1998；张金屯，1995；Green-Smith，1983；Ludwig and Reynolds，1991）

$$C=s^2 \quad m$$

扩散系数是检验种群是否偏离随机分布的一个系数，当 $C=1$ 时，种群属随机分布；当 $C>1$ 时，为集群分布；当 $C<1$ 时，为均匀分布。

点格局分析的统计学理论首先是由 Ripley（1977）提出，而后由 Diggle 等（1983）发展形成的（张金屯，1998；张金屯和孟东平，2004；Ripley，1977，1981）。具体的数学原理在这里不作详细说明。

点格局分析法的数据来源于植物种的个体在空间中的坐标，植物种的个体在空间中都可以看成是二维空间中的一个点，因此一个样方中的所研究的植物都可以用一系列点来表示，即样方中的所研究植物个体构成了空间分布的点图。然后用以下公式进行测定：

$$\hat{H}_{(t)}=\sqrt{\frac{\frac{A}{N^2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{W_{ij}}I_t(u_{ij})}{\pi}}-t \qquad (i\neq j)$$

下面对这一公式进行简单的介绍，根据数学知识，平均数（m）和方差（v^2）是一维数集的一次和二次特性，同理，密度（λ）和协方差（K）是二维数集的一次和二次特征结构。在点格局中，λ是单位面积内的期望点数，K 是点间距离分布的测定指标，K 随着尺度的变化而变化。此二次特征可以简化为一个函数方程 K（t）（Diggle，1983；Ripley，1977，1981）：

$$K(t)=\lambda^{-1}$$

这里 t 可以是大于 0 的任何值，λ为单位面积上的平均点数，用 N A 来估计，A 为样地面积，N 为总点数即植物个体数。在实践中，K（t）用下式来估计（Diggle，1983）：

$$K(t)=\frac{A}{N^2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{W_{ij}}I_t(u_{ij}) \qquad (i\neq j)$$

其中，u_{ij} 为两个点 i 和 j 之间的距离；当 $u_{ij}\leq t$ 时，$I_t(u_{ij})=1$，当 $u_{ij}>t$ 时，$I_t(u_{ij})=0$；W_{ij} 为以点 i 为圆心，u_{ij} 为半径的圆周长在面积 A 中的比例，其为一个点（植株）可被视察到的概率（张金屯，1998；Ripley，1981），在这里是权重，是为了消除边界效应（Edge effect）（Ward 等，1996）。但是在种群格局时，K(t) π的平方根更有用，在随机分布下，其可使方差保持稳定，同时它可以与 t 有线性关系（张金屯，1998），用总方程中的 $\hat{H}_{(t)}$ 来表示这一线性关系。

Monte-Carlo 拟合检验用于计算上下包际线（Envelopes），即置信区间。假定种群是随机分布，用随机模型拟合一组点的坐标值，对每一 t 值，计算 $\hat{H}_{(t)}$；用同样的方法重复上一过程直到事先确定的次数，

$H_{(t)}$的最大值和最小值分别是上下包际线的坐标值，重复次数对 95%的置信水平应为 20 次，99%的置信水平为 100 次（Ripley，1977）。

得到数据之后用 t 作为横坐标，上下包际线作为纵坐标绘图，置信区间就为上下包际线区间。然后再结合用种群实际分布数据（点图）计算得到的不同尺度下的 $H_{(t)}$值一起绘图，种群分布格局就一目了然，如果种群实际分布数据计算得到的不同尺度的 $H_{(t)}$值在上下包际线以内，则符合随机分布，若在包际线以外，则显著偏离随机分布，即呈集群分布。

表 2　以海拔为独立因素，对淫羊藿分株种群密度和根冠比的 One-way ANOVAs 的 *F* 值

Table 2　One-way ANOVAs analysis（*F*-value）on the effects of elevation on pamet population density and ratio of root to shoot in *Epimedium brevicornum*

特征 Characters	自由度 *df*	*F* 值 *F*-value	显著性水平 Significant level
分株种群密度 Ramet population density	2	9.352	0.014
根冠比 Ratio of root to shoot	2	15.870	0.004

2　结果

2.1　淫羊藿分株种群密度

单因素方差分析揭示了海拔对淫羊藿分株种群密度有显著影响（表 2）。淫羊藿在低海拔下分株种群密度比较高，而在高海拔下分株种群密度比低海拔低（图 1）。

2.2　淫羊藿分株种群根冠比

单因素方差分析揭示了海拔对淫羊藿分株种群的根冠比有显著的影响（表 2）。淫羊藿分株种群的根冠比随着海拔的升高而升高，在海拔 774 m 处，淫羊藿分株种群的根冠比达到最大（图 2）。

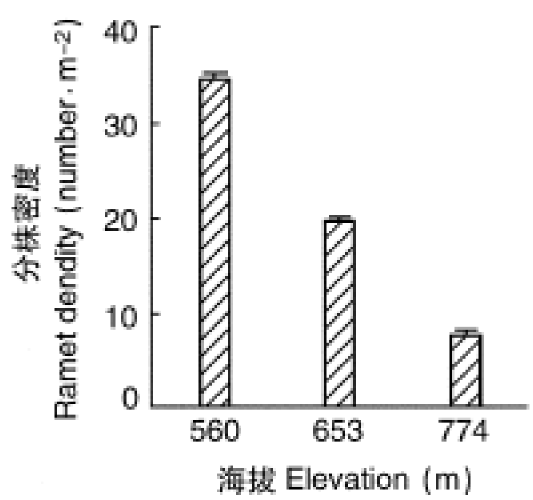


图 1　淫羊藿在不同海拔高度的分株种群密度

Fig. 1　Ramet population density of *Epimedium brevicornum* at different elevation

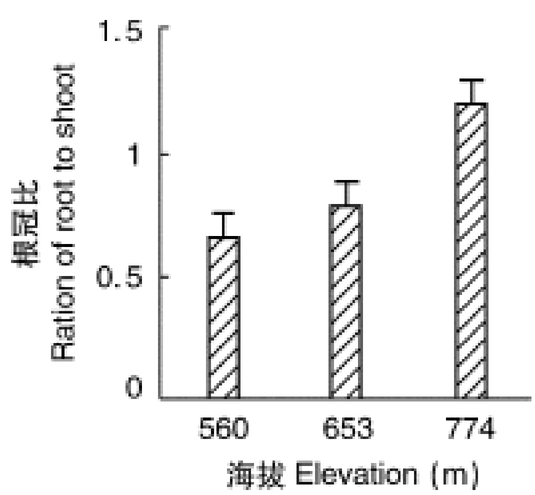


图 2　淫羊藿在不同海拔高度的分株种群根冠比

Fig. 2　Ratio of root to shoot in *Epimedium brevicornum* at different elevation

2.3　淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群的空间分布格局

应用聚块性指标、聚集指数、Cassie 指标、扩散系数 4 种方法测定各海拔梯度淫羊藿和 771 m 处箭叶淫羊藿种群空间分布格局的结果见表 3，两个种群都为集群分布。

4 个 10 m×10 m 研究样地中淫羊藿和箭叶淫羊藿种群基株分布的点图见图 3。图的边长代表 10 m，但这里所有淫羊藿或箭叶淫羊藿植株的个体的坐标均用 0～1 之间的数值表示，即实测值全部除以 10。从点图中可看出，淫羊藿在低海拔 559 m 处 10 m×10 m 的样地内共有 442 个基株，海拔 656 m 处共有 276 个基株，海拔 782 m 处共有 163 株，箭叶淫羊藿在海拔 771 m 处 10 m×10 m 样地内共有 79 个基株。

表 3 淫羊藿和箭叶淫羊藿种群空间分布格局测定结果

Table 3 The spatial distribution patterns of *Epimedium brevicornum* and *Epimedium sagittatum*

物种名 Species	聚块性指标 Congregation index (m^* m)	聚集指数 Clump index (I)	Cass 指标 Cassie index (CA)	扩散系数 Dispersal index (C)	分布格局类型 Pattern types
淫羊藿 *Epimedium brevicornum* (低海拔)	1.04	4.88	0.04	5.88	集群 Clump
淫羊藿 *Epimedium brevicornum* (中海拔)	1.00	0.11	0.002	1.11	集群 Clump
淫羊藿 *Epimedium brevicornum* (高海拔)	1.69	28.14	0.69	29.14	集群 Clump
箭叶淫羊藿 *Epimedium sagittatum*	1.19	3.81	0.19	4.81	集群 Clump

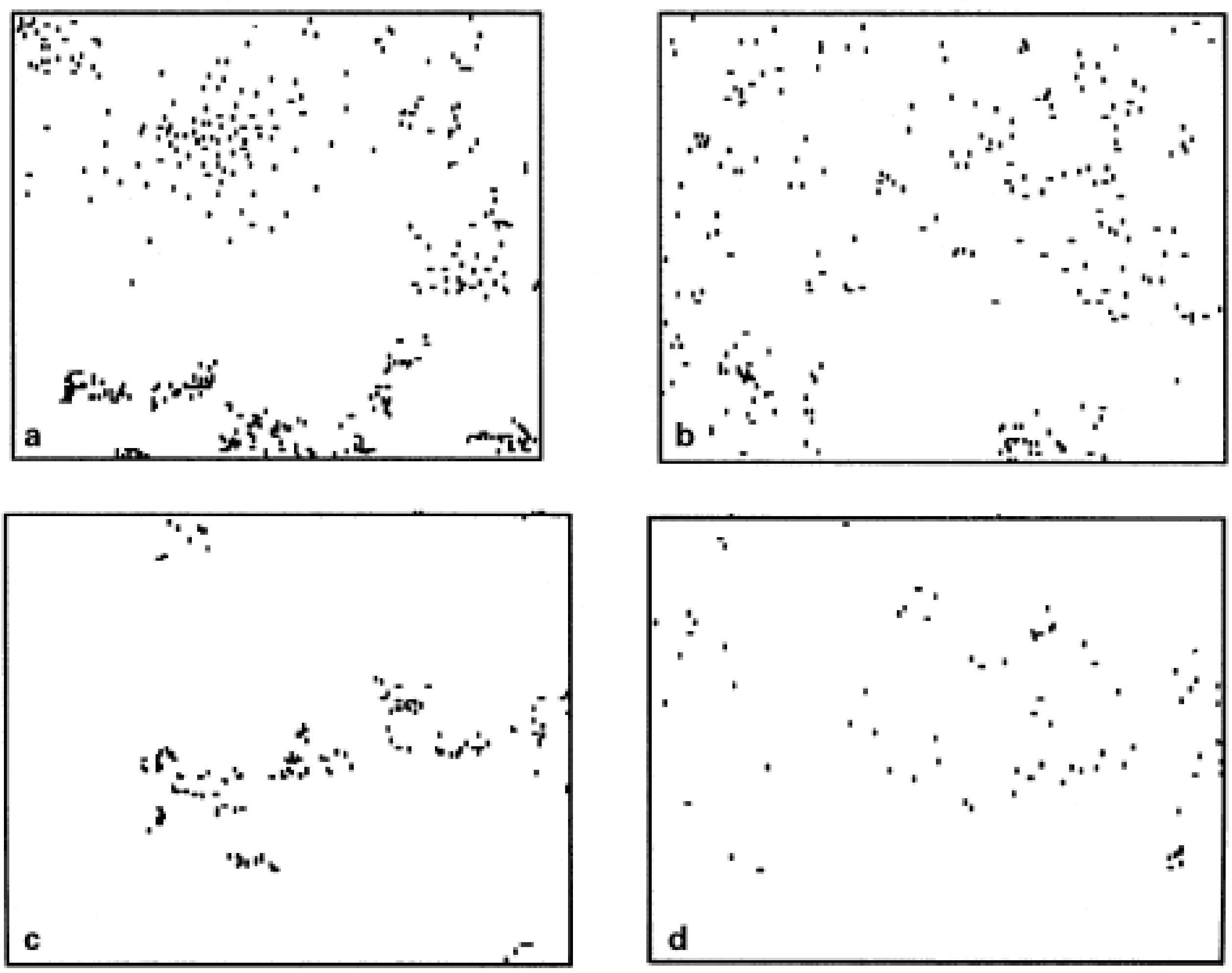


图 3 淫羊藿和箭叶淫羊藿在样地中的分布点图

a. 代表低海拔淫羊藿点图; b. 代表中等海拔淫羊藿点图, c. 代表高海拔淫羊藿点图, d. 为箭叶淫羊藿点图

Fig. 3 Mapped point pattern of *Epimedium brevicornum* and *Epimedium sagittatum*

a. b. c. d stands for point pattern of *Epimedium brevicornum* at lower attitude 559 m, the attitude 656 m, the attitude 782 m and *Epimedium sagittatum* respectly

各海拔梯度淫羊藿和 771 m 处箭叶淫羊藿的点格局分析结果分别见图 4 中的 a、b、c、d。图中实线为用实际数据计算的 $H_{(t)}$，虚线为拟合的上下包迹线。分析时取 t 的间隔为 0.01 (即 0.1 m), t 的最大值为样地边长的一半 (即 5 m)。图的 x 轴坐标 t 用 0～0.5 之间的数表示, 在这也可以用 m 直接来表示。从图 4 中可以清楚的看出淫羊藿和箭叶淫羊藿的空间分布格局。对于淫羊藿, 在所有的尺度 (t) 下, 都呈显著的集群分布。而对于箭叶淫羊藿, 在尺度 (t) 0～0.01 之间, 呈随机分布, 在尺度 (t) 0.01～0.5 之间, 显著的呈集群分布。本文所分析的淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群集群分布的特点较明显。这从它们各自的点图上也可以看出来。

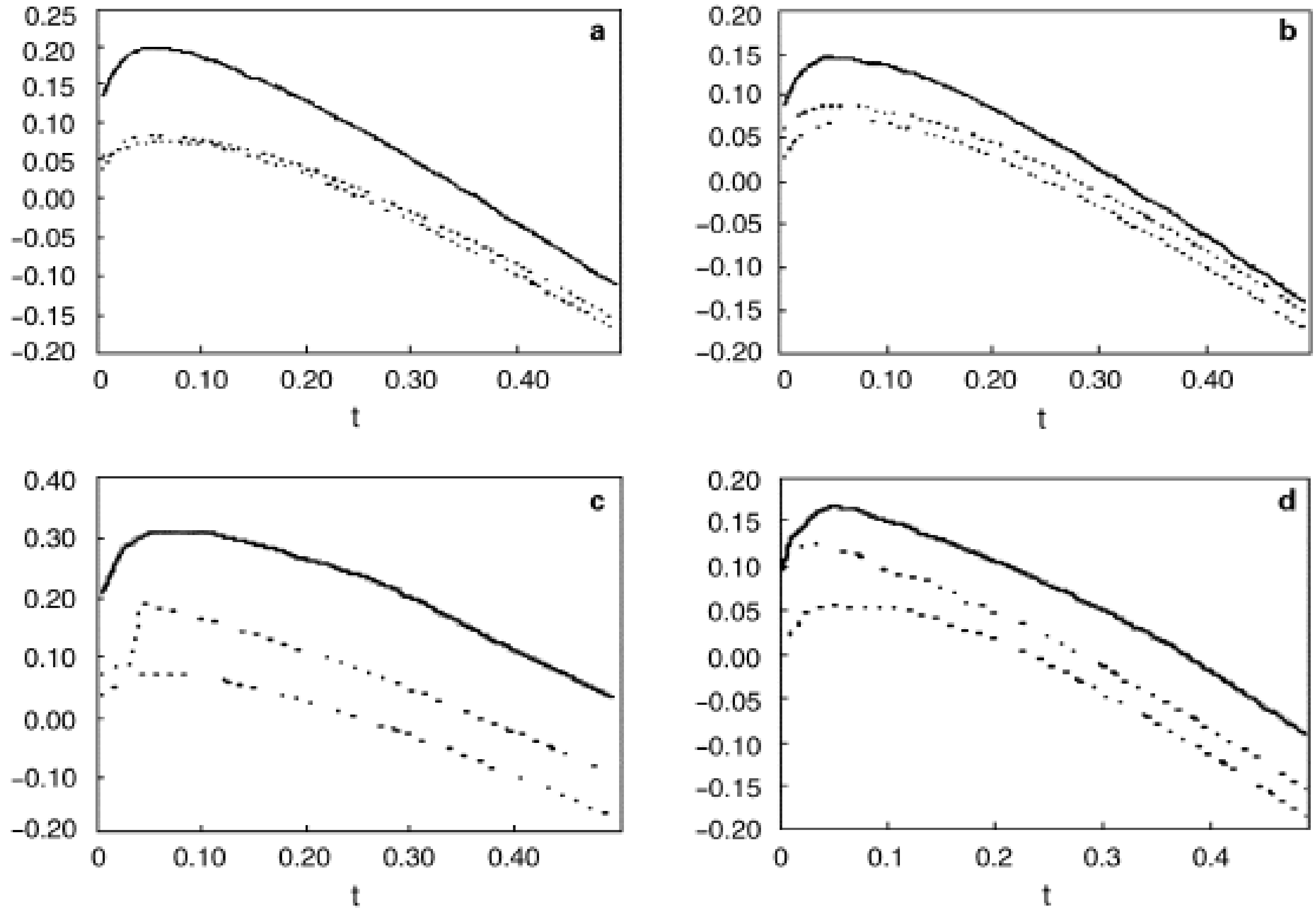


图 4 中的纵坐标表示 $H_{(t)}$，——：$H_{(t)}$；------：拟合的上下包际线

a．代表低海拔淫羊藿；b．代表中等海拔淫羊藿；c．代表高海拔淫羊藿；d．为箭叶淫羊藿

Y-axis in fig. 4 stand for $H_{(t)}$，——：$H_{(t)}$；------：Upper and lower envelopes，a．b．c．d stands for *Epimedium brevicornum* at lower attitude 559 m，the attitude 656 m，the attitude 782 m and *Epimedium sagittatum* respectly

3　讨论

淫羊藿分株种群密度随研究样地海拔的升高而显著降低。淫羊藿生境潮湿，多生长于崖下渗水区、林下或浅沟壑边，乔木层茂密，而空旷地几乎没有淫羊藿的分布。随着海拔的升高，同海拔高度 3 个样地的平均光照强度相对增强，淫羊藿分株种群密度随之相应增大，这与蔷薇科 *Potentilla reptans* var. *sericophylla*、毛茛科 *Ranunculus repens* 和豆科 *Trifolium repens* 植物的分株对光照强度的反应格局相似（de Kroon and Hutchings，1995；张淑敏等，2000），而与蔷薇科 *P. reptans*、*P. anseriana*、*Duchesnea indica* 和禾本科 *Cynodon dactylon* 植物的分株对光照强度的反应格局不同（de Kroon and Hutchings，1995），因此，根据淫羊藿喜阴的生长习性，在一定范围内，光照强度的增强可能是使淫羊藿分株种群密度随海拔升高而降低的原因之一。种间竞争对植物的生长有显著影响，在高密度环境下，游击型的克隆植物生长被抑制，而密集型的克隆植物生长竞争能力明显增强（Schimid and Harper，1985），淫羊藿是一种密集型克隆植物，在高海拔梯度 774 m 的 3 个研究样地中，与淫羊藿伴生的草本物种只有两个种，冷水花和细柄草，而在低海拔研究样地中，与淫羊藿伴生的草本植物除了冷水花和细柄草，还有鸢尾、蛇莓、艾蒿、打破碗花花、乌敛莓、水麻、吉祥草等草本植物，低海拔样地草本植物种类繁多，密度大，激烈的种间竞争显著增强了淫

羊藿的克隆生长。此外随着海拔的升高，同海拔高度 3 个样方的平均土壤含水量有升高的趋势，对于喜湿生境植物淫羊藿来说，在一定范围内，土壤含水量也有可能影响其分株种群的密度。海拔高度的变化可引起很多环境因子随之相应改变，从而间接的影响到淫羊藿分株种群的密度，因此，要提高人工栽培淫羊藿的分株种群密度，进一步开展控制时空因素结合实验室和野外的生态学研究是十分必要的。

随着海拔的升高，淫羊藿分株种群根冠比随之而相应升高。在各海拔梯度的样地中，土壤水分在低海拔样地低于高海拔样地，土壤有机质含量随海拔的升高而相应降低（表 1），较高的土壤水分和较低的土壤有机质含量可使淫羊藿对地下部分的投资增大，而对地上部分的投资就相对的减少，这与 Pavlik（1983）对克隆禾草的研究结果相一致，Pavlik 曾指出，在较高土壤水分和低养分条件下，克隆禾草的根冠比较高，因此土壤水分随海拔升高而升高和土壤有机质含量随海拔的升高而降低使得淫羊藿分株种群的根冠比随海拔高度的增加而相应升高。另外，淫羊藿是宿根性多年生克隆草本，其分株种群密度随海拔升高而降低，在低海拔处淫羊藿分株数明显高于高海拔处，从而使得其根冠比在低海拔处明显低于高海拔处，所以，淫羊藿分株数在低海拔处明显高于高海拔处也是淫羊藿分株种群根冠比随海拔升高而升高的又一重要原因。其中，对于淫羊霍分株种群根冠比在不同土壤有机质含量条件下的变化存在差异的具体原因还不是很清楚，应该继续对不同海拔高度的土壤环境因子进行研究，以达到切实保护野生淫羊藿和进行人工栽培药效优质的淫羊霍的目的。

箭叶淫羊藿在海拔 749 m 以下无分布，而且箭叶淫羊藿和淫羊藿几乎不在同一样方中出现，两个种群的生境相隔甚远，其中的原因还不是很清楚，因此应该进一步对箭叶淫羊藿生境中的环境因子进行研究，而后再与淫羊藿生境的环境因子进行比较，从而分析两者不在同一邻近生境出现的原因。这样更能促进对野生淫羊藿和箭叶淫羊藿的保护，而且能为人工栽培淫羊霍和箭叶淫羊藿提供更可靠的科学依据。

植物种群空间分布格局研究一直是植物生态学中研究的重点，成因可分为植物本身的生物学特性和植物所处的环境因子（陈劲松等，2003；张亚爽等，2005）。傅星和南尹镐(1992) 认为，植物种群小尺度的空间分布格局是由植物本身的生物学特性所决定的，而大尺度的空间分布格局主要由环境因子所决定。通过用聚块性指标、聚集指数、Cassie 指标、扩散系数和点格局分析方法对 3 个海拔梯度淫羊藿和海拔 771 m 处箭叶淫羊藿的空间分布格局的分析，淫羊藿在 3 个海拔梯度上的空间分布特征都为显著的集群分布，箭叶淫羊藿空间分布特征也为集群分布，而用点格局分析方法得出的结果为箭叶淫羊藿在尺度 (t) 0～0.01 之间，呈随机分布，在尺度 (t) 0.01～0.5 之间呈集群分布，3 个海拔梯度样地的淫羊藿在所有尺度上都呈集群分布，这与邬家林和吴光弟（1992）所观察到的淫羊藿和箭叶淫羊藿的分布格局成团块状相一致。以上这些结果暗示了在不同尺度上的一个因素或几个因素对淫羊藿和箭叶淫羊藿基株种群的空间分布格局有着显著的影响。种间竞争激烈可能是造成它们的空间分布呈集群分布的其中一个重要原因。造成淫羊藿和箭叶淫羊藿在空间上成集群分布的另外一个原因是它们自身的克隆繁殖方式，黄志伟等（2001）在对青海湖 3 种湿地克隆植物的研究中显示，主要以克隆繁殖方式扩展的植物种群，其克隆生长可导致植物种群的不均匀分布。另外，生境异质性对淫羊藿和箭叶淫羊藿种群的空间分

布格局也能产生一定的影响（Hutchings and de Kroon，1994；de Kroon and Hutchings，1995），植物的必须资源不仅在空间分布上表现为斑块性，而且斑块的尺度、水平差和空间结构以及时间上的稳定性都会因资源种类和生境类型的不同而不同（胥晓和苏智先，2005），因此生境异质性也能影响到克隆植株分株种群的空间分布格局。总之，进一步开展生境异质性和淫羊藿与箭叶淫羊藿基株空间分布格局相关性的研究有助于更深入理解淫羊藿和箭叶淫羊藿基株空间分布格局的成因，更有助于提高在人工栽培淫羊藿和箭叶淫羊藿时与其他经济植物进行混植的效益。

本文所用的 5 种分析方法对淫羊藿和箭叶淫羊藿空间分布格局的测定结果一致，其中点格局分析法是由张金屯首先引入国内的一种新的格局分析方法，它可以分析不同尺度下的植物种群的空间分布格局，比传统的只用一种尺度的格局分析更具有优越性（张金屯，1998；张金屯和孟东平，2004；Ripley，1977，1981），这从本实验的结果中也能看出，用前面 4 种传统的分析方法只能在一种尺度上反映本文所研究两个种的分布格局，而点格局分析方法能在不同尺度上反映出两个种的空间分布格局（图 4），且结果更加直观，如从点图中可以很直观的看出本文所研究的两个种的分布格局，而且在图 4 中可以看出箭叶淫羊藿在小尺度上呈随机分布，而其他 4 种传统的格局分析方法中则不能分析出来。从表 3 中可以看出，传统的格局分析方法只能从一种尺度上得出本文所研究的植物种群呈集群分布。此外阿德力江等（1995）用传统的格局分析方法对策勒绿洲外围 3 种优势草本植物的种群分布格局研究中，采用 3 种不同大小的样方来分析优势草本植物的分布格局，每种样方大小各取 30 个样方，这里 3 种不同大小的样方跟本文点格局分析方法中的尺度 t 有点相似，也可以说是 3 种尺度，但是不同样方大小的数量还是比较有限，即尺度有限，而且野外工作量非常大，而点格局分析方法就能克服这种缺陷，它可以同时在 50 个不同的尺度上分析草本植物种群的空间分布格局。赵常明等（2004）用 Morisita 指数（I_δ）、方差均值比（V/m）、聚块度指标（m^*/m）和点格局分析法 4 种分析方法对青藏高原东缘岷江冷杉天然群落的种群空间分布进行了研究，结果显示点格局分析方法更能反映出格局强度随尺度变化的关系。目前，由于点格局分析法中上下包迹线的计算量比较大，此方法在实践中的应用还是比较少，而且目前在国内主要的应用还只局限于研究木本植物种群的空间分布格局上，对于草本植物种群的空间分布格局研究方法还是以传统的格局分析方法为主。因此，点格局分析在草本植物中也应进行广泛的尝试。

〔参　考　文　献〕

郭家林，吴光弟，1992．四川淫羊藿的资源结构［J］．中药材，15（4）：12—16

阿德力江，安尼瓦尔，夏阳，1995．策勒绿洲外围优势草本植物的种群分布格局［J］．干旱区研究，12（4）：49—52

Chen JS（陈劲松），Dong M（董鸣），Yu D（于丹），2003．The characteristics of stoioniferous herb *Fragaria vesca* L．ramet population and their variation along an altitudinal gradient in the eastern edge of the Qing-Zang plateau in China［J］．*Acta Ecol Sin*（生态学报），23（3）：428—435

Cassie RM，1962．Frequency distribution medle in ecology plant and other organism［J］．*Anim Ecol*，31：65—95

de Kroon H，Hutchings MJ，1995．Morphological plasticity in clonal plants：the foraging concept reconsidered［J］．*J Ecol*，83：143—152

Fu X (傅星), Nan YG (南尹镐), 1992. Population patterns of main communities on halomorphic meadow of Keerqin sandy land [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 3 (4): 313—320

Green-Smith P, 1983. Quantitative Plant Ecology [M]. Blackwell Scientific Publishing, 54—71

Hou JR (侯集瑞), Sheng JM (盛吉明), Wang XQ (王秀全), *et al*, 2004. Advances in studies on *Horba epimedii* [J]. *J Jilin Agric Univ* (吉林农业大学学报), 26 (1): 59—65

Huang ZW (黄志伟), Peng M (彭敏), Chen GC (陈桂琛), *et al*, 2001. The spatial distribution patterns and dynamics of some wetland dominant plants of the Qinhai Lake [J]. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 7: 113—116

Hutchings MJ, de Kroon H, 1994. Foraging in plants: the role of morphological plasticity in resource acquisition [J]. *Advances in Ecological Research*, 25: 159—238

Lan GY (兰国玉), Lei RD (雷瑞德), 2003. Brief introduction of spatial methods to distribution patterns of population [J]. *J Northwest Forest Univ* (西北林学院学报), 18 (2): 17—21

Li HT (李海涛), 1995. Introduction to studies of the pattern of plant population [J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 12 (2): 19—26

Ludwig J, Reynolds J, 1991. Statistical Ecology [M]. Inner Mongolia University Press, 10—24

Pavlik BM, 1983. Nutrient and productivity relations of the dunes grasses *Ammophila arenaria* and *Elymus mollis*. II. Growth and patterns of dry matter and nitrogen allocation as influenced by nitrogen supply [J]. *Oecologia*, 57: 233—238

Pielou EC, 1988. Mathematical Ecology [M]. Science Press, 139—144

Ripley BD, 1977. Modelling spatial pattern [J]. *Journal of the Royal Statistical Society*. Series B, 39: 17—212

Ripley BD, 1981. Spatial Statistics [M]. New York; Wiley, 10—200

Shangguan TL (上官铁梁), Zhang F (张峰), Bi RC (毕润成), 1992. Studies on the ecological geographic distribution and gynecological characteristics of *Elaeagnus mollis* scrub in Shanxi Province [J]. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 16: 283—291

Schimid B, Harper JL, 1985. Clonal growth in grassland perennials. I. Density and pattern dependent competition between plants with different growth forms [J]. *J Ecol*, 73: 793—808

Wang DG (王大光), Zhu WY (朱文元), Ma HJ (马慧军), *et al*, 2004. Inhibitory effects of icariin on melanogenesis of human epidermal melanocytes [J]. *J Clin Dermatol* (临床皮肤科杂志), 33 (8): 460—462

Ward JS, Parker GR, Ferrandino FJ, 1996. Long-term spatial dynamics in an old-growth deciduous forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 83 (3): 189—202

Xu X (胥晓), Su ZX (苏智先), Li YX (黎云祥), 1999. Analysis on fuzzy mathematics of forest communities at Jincheng mountain in Nan Chong region in Jialing river [J]. *J Sichuan Teach Coll* (四川师范学院学报), 20 (2): 182—189

Xu X (胥晓), Su ZX (苏智先), 2005. A study on relationship between the distribution pattern of *Taxus chinensis* population in Yele and the slop based on patches information [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), 27 (2): 137—143

Zhang JT (张金屯), 1998. Analysis of spatial point pattern for plant species [J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 22 (4): 344—349

Zhang JT (张金屯), 1995. Methods for Quantitative Plant Ecology [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 259—266

Zhang JT (张金屯), Meng DP (孟东平), 2004. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya mountain reserve, Shanxi, China [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 24 (1): 35—40

Zhao CM (赵常明), Chen QH (陈庆恒), Qiao YK (乔永康), *et al*, 2004. Structure and spatial pattern of a natural *Abies faxoniana* population on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 28 (3): 341—350

Zhang SM (张淑敏), Chen YF (陈玉福), Dong M (董鸣), 2000. Clonal plasticity in response to partial neutral shading in the stoloniferous herb *Potentilla reptans* var. *sericophylla* [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), 42 (1): 89—94

Zhang YS (张亚爽), Su ZX (苏智先), Hu JY (胡进耀), 2005. Spatial distribution pattern of *Davidia involucrata* population in Wolong of Sichuan province [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), 27 (4): 395—402

Zheng YR (郑元润), 1997. The applicability of various methods in analysis of *Picea mongolica* population spatial distribution pattern [J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 21 (5): 480—484